I. část. Teorie varního procesu, úpravy klasické varní pánev

Ing. PETR TÓPKA, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha

Ing. STANISLAV PROCHÁZKA, Pražské pivovary, k. p., Praha

Ing. BŘETISLAV KOCAR, Ing. JINDŘICH TOMŠÍK, Pivovary a sladovny, koncern, Praha

Klíčová slova: pivo, mladina, chmel, chmelovar, teorie, zařízení, úspory energie, tlakový var, varní pánev, kondenzátor, brýdové páry

Mnohonásobné zvýšení cen ropy a zemního plynu od roku 1973 vedlo k rychlému vývoji nových, energeticky úsporných zařízení a k přehodnocení dosud všeobecně uznávaných a po řadu let neměnných technologických postupů. V pivovarském průmyslu se tento vývoj zaměřil zejména na energeticky nejnáročnější úsek, tj. na vaření mladiny. V praktických aplikacích se dosáhlo v řadě případů úspor energie více než 50 %.

V sérii předkládaných článků chceme čtenářům Kvasného průmyslu poskytnout základní informace o těchto nových varních systémech a seznámit je s našimi praktickými zkušenostmi ze zkušebního provozu kontinuálního vařáku firmy Steinecker (NSR) v pivovaru Staropramen. Úvodní článek se ve stručnosti zabývá teorií varního procesu a možnostmi energetických úspor při klasickém, netlakovém chmelovaru.

Teorie varního procesu

Fyzikální a chemické změny probíhající při chmelovaru lze shrnout do těchto okruhů otázek:

- zahuštění mladiny,
- sterilace mladiny a inaktivace enzymů,
- koagulace bílkovin a tvorba lomu,
- rozpouštění a izomerizace hořkých chmelových látek,
- tvorba redukcíjících a aromatických látek,

- odstranění nežádoucích aromatických látek,
- změna barvy a pH jako následek uvedených dějů.

Při hodnocení těchto pochodů z pohledu moderních metod chmelovaru docházíme k zajímavým zjištěním.

Zahuštění mladiny

Při dané koncentraci mladiny je stupeň vyslazení mláta určen množstvím vody odpažené při chmelovaru. Zvyšování celkového odparu má z tohoto pohledu význam pouze do té míry, kdy jsou zvýšené energetické nároky kryty sníženou extraktivou ztrátou. V roce 1980 byl v NSR práh rentability dán hodnotou koncentrace posledního výstřelku ve výši 2 % [1]. Možnost zpracování posledního výstřelku v následující várce umožňuje vyhnout se i tak ztrátám extraktu. Bylo zjištěno, že při úplném zřeknutí se odparu by za normálních podmínek činila ztráta varního výtěžku 1,3 % [2].

Sterilace mladiny a inaktivace enzymů

Při slabě kyselé reakci a za přítomnosti chmelových látek s antiseptickým účinkem se mladina steriluje velmi rychle. Po 15 minutách varu při 100 °C jsou zničeny mikroorganismy včetně bakteriálních spor a inaktivovány všechny enzymy [3]. Tentýž účinek je spolehlivě zajištěn při značně kratších reakčních dobách u tlakových způsobů chmelovaru [10].

Koagulace bílkovin a tvorba lomu

Při chmelovaru bílkoviny nejprve denaturují za ztráty vody, pak nastává vlastní srážení (koagulace), při němž dehydratované mycely vytvářejí vločky lomu. Za optimálního pH pro vznik lomu se označuje hodnota 5,2. Koagulaci podporuje přítomnost polyfenoiových látek. U koncentrovaných mladín je koagulace bržděna vyšší viskozitou a zvýšenou koncentrací ochranných koloidů [3].

Při konvenčním vaření je stupeň koagulace problematický a brání výraznějšímu zkrácení doby chmelovaru. Při celkovém odparu pod 12 % bývá koagulace bílkovin nedostatečná [2]. Při požadavku dosáhnout obsah koagulovatelného dusíku v rozmezí 1,5–2 mg ve 100 ml je tak délka chmelovaru určena na 90 minut [4]. Na výsledek se samozřejmě podílí i vlastní konstrukce pánve a zejména umístění a dimenzování teplosměnných ploch.

Naopak již při relativně malém zvýšení teploty nad 100 °C se velmi rychle dosáhne požadované koagulace. Je otázkou, zda je zvýšením teploty podporována denaturace proteinů, nebo zda intenzivní tvorba bublin páry při expanzi zlepšuje aglomeraci [2]. Jisté je, že již při teplotách 105 až 108 °C se dosáhne výborných výsledků [1]. To platí i o teplotách 130 až 150 °C, i když proti teoretickým předpokladům nebyla závislost na teplotě v tomto rozmezí jednoznačná. Závislost se snad neprojevuje tak zřetelně proto, že se pochody denaturace a aglomerace překrývají [2,5].

Rozpouštění a izomerizace hořkých chmelových látek

Při klasickém chmelovaru se počáteční rychlý vzrůst izomerizačního stupně postupně zvolňuje s dobou varu. Prodloužení z 90 na 120 minut zvýší stupeň izomerizace ještě o 10 až 15 %. Průměrná doba kontaktu chmele s mladinou by neměla být kratší než 50 až 60 minut. Při nedostatečné izomerizaci při chmelovaru se pozitivně uplatňuje prodleva ve vířivé kádì již od teplot nad 80 °C. U hlávkového chmele je stupeň izomerizace ovlivněn rovněž intenzitou varu [4, 6, 7].

Vzhledem ke snadnému vylučování koagulovatelného dusíku při teplotách nad 100 °C, považují *Sommer a Schilfarth* [5, 15, 16] průběh izomerizace hořkých chmelových látek za reakci, která vyžaduje nejvíce času. Z reakčních rychlostí při 130, 140 a 150 °C byla odvozena regresní rovnice:

$$R = 10 \frac{200,1 - T}{26,8}$$

kde R je reakční doba (s) a T — reakční teplota (°C).

Izomerizace hořkých chmelových látek je tedy reakcí prvního řádu a sleduje logaritmickou funkci. Vzestup teploty o 10 °C zkracuje potřebnou reakční dobu asi 2,4 krát.

Prodlevě 90 minut při 100 °C odpovídá:

- 7 minut při 130 °C,
- 3 minuty při 140 °C,
- 1,2 minuty při 150 °C.

Tyto hodnoty platí pro průměrnou dobu ohřevu 15 až 20 s při teplotách nad 110 °C a při krátkých prodlevách při expanzi.

Při 150 °C stoupá obsah iso- α -kyselin po dobu 100 až 120 s, pak obsah v důsledku tepelného rozkladu klesá. Jednotky hořkosti dosahují naproti tomu maxima teprve po 150 s.

Uvedená závislost byla v daném teplotním rozmezí potvrzena praktickými zkouškami při kontinuálním vaření mladiny [8].

Pic NDK systémy (vaření při nízkém tlaku) pracující v teplotním rozmezí 104 až 108 °C lépe vyhovuje vztah, který bere v úvahu poločas rozpadu prekursorů dimethylsulfidu [8].

Tvorba redukcíjících a aromatických látek

Aromatické látky mladiny pocházejí jednak z varních surovin, jednak se tvoří při chmelovaru. Při tlakovém vaření tvorba těchto látek v souladu se zákony reakční kinetiky výrazně stoupá se vzrůstající teplotou [9].

Aromatické látky vzniklé Maillardovou reakcí jsou vyžadovány zejména u tmavých sladů a pív, ale i u svět-

Obr. 1. Mladinové pánve s vnějším vařákem sloužící jako sběrač sladin, vlastní pánve a vířivá kád (firma Steinecker)

Obr. 2. Kombinovaná rmutovací a mladinová pánve s vnějším vařákem, brýdovým kondenzátorem, tlakovými zásobníky na chmel, koncipovaná pro malý počet várek denně (firma Steinecker)

lých pív přispívají ke tvorbě základního arómatu. Jsou-li však přítomny ve větší míře, negativně ovlivňují celkový charakter piva (vůně po pražení, chlebnatost, trávová chuť). Jejich tvorbu lze sledovat ze vzrůstu obsahu 5-hydroxymethylfurfuralu (HMF), základní informaci poskytné i sledování změny barvy [10].

Varní příchutí mohou pivu dále udílet dusíkaté heterocyklické sloučeniny, a to zejména reakční produkty prolinu, vzhledem k nízkým prahovým hodnotám. Některé z těchto látek mohou pivu udílet rovněž nepříjemnou hořkost [11]. Jejich tvorba není paralelní tvorbě HMF a podobných produktů [12].

Odstanění nežádoucích aromatických látek

Z mladiny je při chmelovaru v krátké době odstraněna většina chmelových silic, isoamylalkoholy, oktanol, hexanal [13].

V odcházejících brýdových parách však s délkou chmelovaru postupně vzrůstá koncentrace látek, které se tvoří v důsledku teplotního účinku — například furfural, furfurylalkohol, 4-vinylguajakol. Odtud vyplývá důležitost

rovnoměrného odparu po celou dobu chmelovaru, jakož i zajištění trvalého pohybu mladiny (homogenizace) v páni [10].

Další složkou nepříznivě ovlivňující vůni piva jsou sirné sloučeniny, zejména dimethylsulfid (DMS). Jeho prekursor vzniká již při klíčení sladu. Při hvozdnění se při dotahovacích teplotách částečně štěpí na volný DMS, který zčásti vytéká. Zbýlý volný DMS je odstraněn při chmelovaru, ale vznikají stále nové podíly rozkladem ještě přítomných prekursorů. Dostatečný teplotní účinek při chmelovaru urychluje štěpení prekursorů DMS, dostatečný a rovnoměrný odpar zajišťuje vytékání uvolněného DMS [10, 14].

Z praktických zkoušek byl odvozen empirický vztah pro štěpení prekursorů DMS, jakožto reakce prvního řádu [8]:

$$t = t_0 \cdot e^{-K \cdot T},$$

kde t je poločas rozpadu při reakční teplotě,

t_0 — poločas rozpadu při 0 °C,

K — konstanta,

T — reakční teplota (°C).

Vzestup teploty o 10 °C zkracuje poločas 3,1 krát až 3,2 krát. Jako střední hodnota byla vzata druhá odmocnina z 10. Pak

$$K = 0,1 \cdot \ln 10 = 0,11513.$$

Vztah umožňuje stanovit vhodnou reakční dobu při chmelovaru za různých teplot. Požadovaný odpar, s ohledem na vytékání nežádoucích aromatických látek, je předmětem dalších zkoušek [8].

Tabulka 1. Poločasy rozpadu pro štěpení prekursorů DMS [8]

T (°C)	80	90	95	100	105	110
t (min)	744,0	253,3	132,3	74,4	41,8	23,5
T (°C)	115	120	125	130	135	140
t (min)	13,2	7,4	4,2	2,4	1,3	0,7

Změny barvy a pH jako důsledek uvedených dějů

Zvyšování barvy při vaření mladiny je způsobeno zahuštěním, tvorbou melanoidinů, karamelizací cukru a oxidací polyfenolových látek. Silnější mladiny varem přibarvují více než slabší, přitom přibarvení není přímo úměrné koncentraci a roste se vzrůstem pH [20, 21].

U polyfenolových látek je ovlivňujícím faktorem množství a stupeň polymerace polyfenolů sladu a chmelle, jakož i jejich změny při předcházejících fázích procesu. Celkové zatížení kyslíkem při chmelovaru by nemělo přesáhnout 0,5 mg · l⁻¹.

Hodnota pH mladiny klesá při chmelovaru o 0,2—0,3 j., v závislosti na ústoje schopnosti mladiny a vzniku kyselých reagujících melanoidinů. V malé míře se na poklesu pH podílí rovněž hořké chmelové látky [4, 22].

Možnosti energetických úspor při chmelovaru

Z celkové spotřeby primární energie v tradičně pracujícím pivovaru připadá na varnu průměrně 50 %, z toho přibližně tři čtvrtiny na chmelovar [17, 18]. Odchyly od těchto hodnot může způsobit zejména stáčírna lahví při větším podílu pasterovaného piva, ale i způsob přípravy horké provozní vody [19].

Výraznou úsporu primární energie ve varně lze získat buď lepším využitím tepla brýdových par, nebo snížením celkového odparu za varu při vyšších teplotách, kdy jsou urychleny fyzikální a chemické přeměny. Snížením odparu o 1 % se uspoří minimálně 3,4 MJ · hl⁻¹ vystaveného piva [19].

Potřeba horké varní vody je obvykle kryta vodou ohřátou v předchlazovací zóně deskového chladiče mladiny. Zbývá tedy získat horkou provozní vodu v množství 0,3—0,4 hl · hl⁻¹ mladiny. K tomu se nejčastěji využívá kondenzátorů brýdových par odcházejících z varní pánve. Požadované množství vody se u dobře pracujícího kondenzátoru získá již při 5 % celkovém odparu. Vyšší

Obr. 3. Brýdový kondenzátor a chladič kondenzátu brýdových par (firma Steinecker)

odpary, běžné při klasickém chmelovaru, tedy vedou ke značnému přebytku horké vody [19].

Vyjdeme-li z klasické varní pánve s nepřímým parním otopem, bez využívání tepla brýdových par s délkou varu 90 minut a celkovým odparem 12 %, máme k dispozici tyto technické možnosti vedoucí k energetickým úsporám:

- klasická netlaková pánev vybavená kondenzátorem brýdových par,
- tlakové vaření — systém NDK,
- komprese brýdových par,
- kontinuální chmelovar.

Na obrázku 4 je znázorněna pětinádobová varna, vyrábějící 7 várek za 24 hodin. Je vybavena dvěma rmutovstíracími pánevemi 1, scezovací kádí s rychloscezováním 2, 2 ks mladinových nádob 3 se společným vnějším vařákem 4, jejichž konstrukce umožňuje použití pro chmelovar i jako vířivé kádě (viz též obr. 1). Po ukončení chmelovaru se mladina čerpá v okruhu přes vnější vařák a spodní, tangenciální vstup a uvádí se do rotace. Ohřátá voda z chladiče mladiny 5 je akumulována v nádrži 6. Teplo brýdových par není využíváno. V následujícím popisu jednotlivých energeticky úsporných systémů budeme vycházet z tohoto základního schématu.

Netlaková pánev s vnějším nebo vnitřním vařákem, vybavená kondenzátorem brýdových par

Nejběžnějším způsobem zpětného využití odpadního tepla par odcházejících z varní pánve je instalace brýdového kondenzátoru 9 podle schématu na obr. 5.

V dobře fungujícím kondenzátoru brýdových par lze získat zpět 90—95 % výparného tepla předaného mladině. Základní podmínkou pro to je vyloučit přísávání vzduchu do pánve při chmelovaru. Prochází-li kondenzátorem trvale směs vodních par a přísátého vzduchu, snižuje se teplota, přestup tepla je výrazně zhoršen a účinnost prudce klesá až na 20 %. Z tohoto důvodu musí být pánev hermeticky uzavřena a chmel se nedávkuje dvířky, ale vyplavuje z uzavřených zásobníků 8 (viz též obr. 2) přecherpáváním mladiny [23, 24]. Na obr. 5 je pro jednoduchost zakreslen jeden zásobník.

Kondenzát brýdových par odcházející z kondenzátoru 9 je veden do výměníku 10, kde je dochlazován při dalším získání teple vody. Účinnost systému je až 95 % a teplota odcházející vody 90 °C. Jako konstrukční materiál je volena Cr/Ni nerezavějící ocel (viz obr. 3). Zařízení je napojeno na CIP stanici.

Vzhledem k tomu, že při odparech nad 4,5—5 % se získá přebytek horké provozní vody, je možno ve větších závodech v prvním stupni kondenzátoru předeřhřívát sladinu [19]. Jiným způsobem je předeřhřívání sladiny horkou vodou získanou v brýdovém kondenzátoru a akumu-

Obr. 4. Pětínádobová varna

p — pára k — kondenzát, sv — studená voda, m — mladina

Obr. 5. Schéma instalace brýdového kondenzátoru

p — pára k — kondenzát, sv — studená voda, tv — teplá voda, bk — brýdový kondenzát, m — mladina

lovanou v zásobníku 7 podle schématu na obr. 5. Sladina z nádoby 3 prochází deskovým výměníkem 11, kde se přehřeje horkou vodou asi na 85 °C. Po předání části tepla sladině a poklesu teploty na 80 °C je voda akumulována v zásobníku 6.

Jiný systém, tzv. ECO-Kochung, zavedla firma Kraftanlagen, Heidelberg (NSR). Principem je intenzivní odpařování mladiny ve vakuu po ukončení běžného chmelovaru, které umožňuje dosáhnout požadovaného odstranění nežádoucích aromatických látek z mladiny při celkově nižším odparu. V kondenzátoru brýdových par se ohřívá

voda jak při vlastním chmelovaru, tak při následujícím vakuovém odpařování [25, 26].

Závěrem uvádíme několik poznámek k topnému systému. Jak u vnějších, tak vnitřních vařáků je výstupní teplota směsi mladina — pára vyšší než 100 °C. Moderní konstrukce umožňují škrcením tuto teplotu regulovat a zvýšit až nad 106 °C, aniž by se zmenšil požadovaný cirkulační poměr. I v netlakové pánvi je tak možno zkrátit dobu varu na 60–75 min, při celkovém odparu 5–8 %. Úspora energie je až 60 % [10, 27].

Z kvalitativního hlediska je při popsaném systému

výhodné vyloučení nebo omezení styku mladiny se vzdušným kyslíkem. Obvykle se udává snížení barvy mladiny, stejný nebo nižší obsah koagulovatelného dusíku a zvýšená koloidní trvanlivost piva [10, 28]. Problematikou zatížení mladiny kyslíkem při varném procesu se budeme zabývat v samostatném sdělení.

Literatura

- [1] NARZIŠ, L.: Brauwelt, **120**, 1980, s. 955-a 1047
  - [2] ESSER, K. D.: Ústní sdělení, Říjnové zasedání VLB, Berlín 1981
  - [3] HLAVÁČEK, F., LHOTSKÝ, A.: Pivovarství, SNTL, Praha, 1966
  - [4] PÖHLMANN, R.: LGA Rundsch., 1983, s. 61
  - [5] SOMMER, G., SCHILFARTH, H.: EBC Proc., Nice, 1975, s. 233
  - [6] BRODERICK, H. M.: El cervecero en la practica, Madison, Wisconsin, 1977
  - [7] KRAUSS, G.: Mschr. Brauerei, **24**, 1971, s. 304
  - [8] HERRMANN, H., FELGENTRAEGER, W., KANTELGERG, B., LENZ, B.: Brauwelt, **124**, 1984, s. 2076
  - [9] NARZIŠ, L., MIEDANNER, H., SCHWILL, A., SCHMIDT, R.: Mschr. f. Brauwiss., **38**, 1985, s. 128
  - [10] NARZIŠ, L., MIEDANER, H., JESINA, A.: Brauwelt, **125**, 1985, s. 2045
  - [11] TRESSL, R., GRÜNEWALD, K. G., SILVAR, R., HELAK, B.: EBC Proc. Kodaň, 1981, s. 391
  - [12] TRESSL, R.: EBC Proc., Helsinki, 1985, s. 355
  - [13] GRESSER, A.: In Brauwelt, **125**, 1985, s. 2045
  - [14] ŠPINAR, B., KELLNER, V., ČULÍK, J.: Kvas. prům., **32**, 1986, s. 98
  - [15] SOMMER, G.: Mschr. Brauerei, **35**, 1982, s. 25
  - [16] SOMMER, G., SCHILFARTH, H.: Mschr. Brauerei, **30**, 1977, s. 146
  - [17] SCHROPP, H. P.: Brauwelt, **123**, 1983, s. 1000
  - [18] PENSEL, S.: Brauwelt, **120**, 1980, s. 1572
  - [19] PENSEL, S.: Brauwelt, **124**, 1984, s. 2246
  - [20] KOLBACH, P., WILHARN G.: Wochenschr. f. Brau., **66**, 1940, s. 154
  - [21] WINDISCH, W., KOLBACH, P.: Wochenschr. f. Brau., **44**, 1927, s. 65
  - [22] NARZIŠ, L., MIEDANER, J., KATTEIN, U., SCHWILL, A., HOFMANN, W., KAIN, F., SCHROPP, H. P.: Brauwelt, **122**, 1982, s. 6 a 118
  - [23] Steinecker Freising, Prospektový materiál 1983—1985
  - [24] Huppmann Kitzinger, Prospektový materiál 1980—1985
  - [25] BREYWISCH, D.: Brew. Dest. Int. **15**, 1985, s. 32
  - [26] TÜNTE, P.: Forum der Brauerei, **38**, 1985, s. 234
  - [27] Anonym: Brew. Dest. Int. **16**, 1986, s. 28
  - [28] HEUER, R.: Brauind. **68**, 1983, s. 1485
- Topka, P. - Procházka, S. - Kocar, B. - Tomšík, J.: Moderní způsoby chmelovaru. I. část. Teorie varního procesu, úpravy klasické varní pánve.** Kvas. prům., **33**, 1987, č. 5, s. 130—134.
- V předkládané první části článku, zabývající se moderními způsoby vaření mladiny, jsou diskutovány fyzikálně chemické změny probíhající při atmosférickém a tlakovém chmelovaru. Dále jsou uvedeny možnosti energetických úspor se zaměřením na klasickou varní pánev doplněnou o kondenzátor brýdových par.
- Топка, П., Прохазка, С., Коцар, Б., Томшик И.: Современные методы хмелевара. I. Часть. Теория процесса варки, изменения классического варочного чана.** Квас. прум. **33**, 1987, № 5, стр. 130—134.
- В первой части статьи занимающейся новейшими способами варки охмеленного сусла, обсуждаются физико-химические изменения, протекающие при атмосферном и напорном хмелеваре. Далее приводятся возможности экономии в энергии с направлением на классический варочный чан и конденсатор вторичного пара.
- Topka, P. - Procházka, S. - Kocar, B. - Tomšík, J.: Modern Procedures of Hop Boiling. I. Theory of Boiling Process, Changes of Classical Boiling Vessel.** Kvas. prům. **33**, 1987, No. 5, pp. 130—134.
- In the first part of the article of modern procedures of hop boiling, the physico-chemical changes that occur during atmospheric and pressure hop boiling are discussed. Further, the possible saving of energy with the classical boiling vessel combined with the condenser for vapor is described.
- Topka, P. - Procházka, S. - Kocar, B. - Tomšík, J.: Moderne Verfahren des Hopfenkochens. I. Teil. Theorie des Sudprozesses, Modifikationen der klassischen Sudpfanne.** Kvas. prům. **33**, 1987, Nr. 5, S. 130—134.
- In dem ersten Teil des Artikels, der sich mit den modernen Verfahren der Würzebereitung befasst, werden die physikalisch-chemischen Veränderungen diskutiert, die während des atmosphärischen und des Druck-Hopfenkochens verlaufen. Im weiteren werden die Möglichkeiten der Energietersparnisse angeführt, die sich auf die klassische, durch einen Brüdenkondensator ergänzte Sudpfanne beziehen.